

血管年齢のシミュレーション・解析に関する研究

情報科学科 チン ドウツク タン

指導教員：神山 斉己

1 はじめに

日本国民の死因の第二位を占めている循環器系疾患の主な原因は動脈硬化であり、その早期発見は重要な課題となっている。現在、動脈の硬化具合を簡易的に評価する指標として血管年齢がある。血管年齢の評価方法としては加速度脈波検査 (SDPTG: Second Derivative of Photoplethysmogram), PWV (脈波伝播速度: Pulse Wave Velocity) に基づいた CAVI (心臓足首血管指数: Cardio-Ankle Vascular Index) 検査がある。加速度脈波は指尖容積脈波を二次微分し、その波形の特徴から血管年齢を推定する。CAVI は血圧に依存しない動脈の硬さを表すことができる指標であり、それによって血管年齢を推定する。

しかしながら、各指標の血管内部状態との関連性は十分に明らかにされていない。本研究ではシミュレーションを用いて血管パラメータを変化させ、加速度脈波の変化との関係性を調べるとともに、CAVI の変化傾向を評価する。

2 モデル構成

本研究では Xiao らによって提案された PWPSim (Pulse Wave Propagation Simulation System) を用いる。このモデルは、ヒトの動脈を 55 個のセグメントに分割し、解剖学的な知見に基づいて接続した血流解析モデルである [2]。動脈の半径・太さ、ヤング率・動脈の粘性・末梢抵抗などが設定された血管セグメントにおいて血流波形と血圧波形を再現することが出来る。

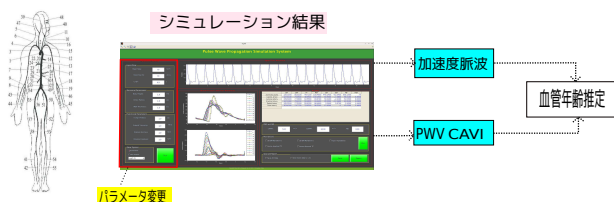


図 1 モデルの概念図

3 血管年齢推定

3.1 加速動脈波検査

PWPSim モデルでは指先の脈波を再現することができないため、指先脈波に近い脈波である手首脈波を利用する。本研究では手首脈波の二次微分を加速度脈波として扱う。得られた加速度脈波の成分波から、加速度脈波加齢指数は式 (1) で求める。

$$SDPTGAI = \frac{b - c - d - e}{a} \quad (1)$$

血管推定年齢は以下のように算出することができる。

$$Age = \frac{SDPTGAI + 1.515}{0.023} \quad (2)$$

3.2 PWV 検査・CAVI 検査

脈波は心臓からの距離が離れる程、脈波の立ち上がりに時間差 ΔT が生じる。PWV 検査では、任意の 2 点間の距離 D と脈波の立ち上がり点の時間差 ΔT を用いて、式 (3) で計算する [1]。

$$PWV = \frac{\text{距離 (D)}}{\text{脈波の伝搬時間差 } \Delta T} \quad (3)$$

PWV に基づいた CAVI の計算方法を式 (4) に示す。

$$CAVI = \frac{2\rho}{\Delta P} \times \ln \frac{P_s}{P_d} \times PWV^2 \quad (4)$$

ここで、 ΔP : 脈圧、 ρ : 血液密度、 P_s = 収縮期血圧 (SBP)、 P_d = 拡張期血圧 (DBP) である。

3.3 比較・評価

血管の柔らかさを表すヤング率に対する、SDPTG 検査法における血管年齢推定の変化を図 2 に示す。ヤング率が大きいほど血管年齢が高くなる。つまり、血管が硬くなると血管年齢が高くなることを確認できた。

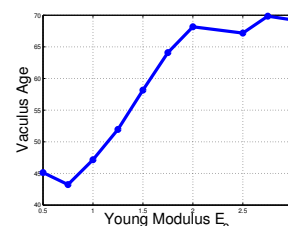


図 2 ヤング率と血管年齢推定の関係

同様にヤング率を変化させたときの PWV と CAVI の変化傾向は図 3 になる。

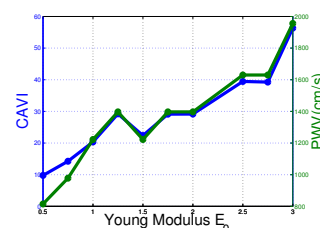


図 3 ヤング率と CAVI の関係

PWV の値が上昇している時、CAVI の値も上昇している。すなわち、血管の硬さが大きくなるときに CAVI の値も高くなる傾向がある。そのために、CAVI の値により血管の硬さまたは血管年齢を推定することが可能であることを確認した。

4 まとめ

本研究では、全身血流動態モデルを用いて、血管状態が、SDPTG 検査、CAVI 検査に与える影響を解析した。また血管パラメータを変化させたときに SDPTG 検査により血管年齢を推定できることを確認した。さらに、PWV 法に基づいた CAVI 検査では、血管パラメータ、特に血管の硬さを表すヤング率を上昇させると CAVI も上昇していく傾向を確認した。

参考文献

- [1] 日本循環器学会, “血管機能の非侵襲的評価法に関するガイドライン”
- [2] PWPSim: A new simulation tool of pulse wave propagation in the human arterial tree
Hanguang Xiao, Mark Butlin, Isabella Tan, Alberto P. Avolio, IEEE 2017